



\*PI 04006372\*  
\*PI 04006372\*

**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**  
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR  
**INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL**

## CARTA PATENTE Nº PI 0400637-2

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 0400637-2

(22) Data do Depósito: 09/02/2004

(43) Data da Publicação do Pedido: 24/05/2005

(51) Classificação Internacional: G01M 15/00

(30) Prioridade Unionista: 07/02/2003 IT BO2003A 000055

(54) Título: MÉTODO PARA DETECTAR FALHAS DE IGNIÇÃO EM MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA ATRAVÉS DE ANÁLISE DA ACELERAÇÃO ANGULAR DO EIXO DE TRANSMISSÃO

(73) Titular: MAGNETI MARELLI POWERTRAIN S.P.A., Empresa Italiana. Endereço: Viale Aldo Borletti, 61/63 - 20011 Corbetta, Itália (IT).

(72) Inventor: STEFANO SGATTI; CARLO SIVIERO; FABRIZIO PONTI

Prazo de Validade: 10 (dez) anos contados a partir de 17/03/2015, observadas as condições legais.

Expedida em: 17 de Março de 2015.

Assinado digitalmente por:

**Júlio César Castelo Branco Reis Moreira**  
Diretor de Patentes



## **Método para detectar falhas de ignição em motores a combustão interna através de análise da aceleração angular do eixo de transmissão**

[001] A presente invenção refere-se a um método para detectar falhas de ignição em motores a combustão interna através de análise da aceleração angular do eixo de transmissão.

[002] Em motores a combustão interna com ignição controlada, a expressão falha de ignição indica o fenómeno de combustão incorreta em um ou mais cilindros; a falha de ignição é particularmente conhecida como tal quando se deve à energia faltante ou inadequada da fagulha gerada pela vela de ignição e é conhecida como falha de injeção quando se deve ao fornecimento de combustível que é inadequado ou faltante.

[003] A presença de falha de ignição é particularmente prejudicial, pois a combustão incorreta é prejudicial para o desempenho do motor, aumenta o nível de emissão de poluentes pelo motor e pode causar danos permanentes ao catalisador. Por esta razão, os padrões europeus de limites de emissão por veículos automotores exigem que as falhas de ignição sejam detectadas de forma eficiente e que os motoristas sejam informados sobre a presença de falhas de ignição por meio de uma luz indicadora localizada sobre o painel de instrumentos. É particularmente necessário, com base nas regulamentações europeias sobre limites de emissão de veículos automotores, indicar aumento dos níveis de emissão de poluentes quando o número de falhas de ignição em um primeiro intervalo (por exemplo, 1000 TDC - pontos mortos superiores) exceder um primeiro limite e indicar deterioração permanente do catalisador quando o número de falhas de ignição em segundo intervalo (por exemplo, 200 TDC - pontos mortos superiores) exceder um segundo limite.

[004] Atualmente, as falhas de ignição são detectadas indiretamente, ou seja, através de análise do valor instantâneo da aceleração angular do eixo de transmissão ou do valor instantâneo do torque de transmissão, uma vez que a análise direta da combustão, por meio de sensores dispostos no interior de cada cilindro, não é praticável por razões de custo.

[005] O método mais disseminado de detecção de falhas de ignição envolve a análise da aceleração angular do eixo de transmissão; particularmente, o sinal fornecido pela roda

fônica é utilizado para calcular o valor da aceleração angular do eixo de transmissão em posições angulares previamente determinadas deste eixo de transmissão e as falhas de ignição são detectadas caso o valor absoluto da aceleração angular do eixo de transmissão seja mais alto que um valor limite previamente determinado.

[006] Observou-se, entretanto, que este método não é muito confiável, pois o valor absoluto da aceleração angular do eixo de transmissão pode também exceder o valor limite como resultado de causas não relacionadas com as falhas de ignição, tais como o acoplamento ou desacoplamento do compressor da instalação de ar condicionado, a aspereza da rodovia ou até desacelerações bruscas. Além disso, no caso de falha de ignição isolada, o valor da aceleração angular do eixo de transmissão pode ser suplementado por oscilações de torção que fazem com que o valor absoluto da aceleração angular do eixo de transmissão exceda o valor limite em vários instantes sucessivos; neste caso, uma única falha de ignição é detectada erroneamente como uma série de falhas de ignição sucessivas.

[007] Uma primeira solução dos problemas discutidos acima é descrita no Pedido de Patente Europeu nº EP-0637738-A1, que descreve um método de detecção de falhas de ignição em motores a combustão interna através de análise da aceleração angular do eixo de transmissão; a fim de tentar eliminar a influência de distúrbios, o valor da aceleração angular do eixo de transmissão é processado através da criação do chamado índice cíclico que, quando comparado com limites apropriados, indica a presença de falhas de ignição.

[008] Entretanto, o método de detecção de falhas de ignição descrito no Pedido de Patente Europeu nº EP-0637738-A1 também tende erroneamente a detectar uma série de falhas de ignição sucessivas em vez de uma falha de ignição isolada, como resultado das oscilações do valor da aceleração angular do eixo de transmissão causada por uma falha de ignição isolada.

[009] O objeto da presente invenção é o de proporcionar um método para detectar falhas de ignição em motores a combustão interna através da análise da aceleração angular do eixo de transmissão, que seja livre das desvantagens descritas acima e, particularmente, que seja de produção simples e econômica e capaz de reduzir ao mínimo os percentuais de detecções incorretas e errôneas de falhas de ignição.

[0010] A presente invenção se refere a um método para detectar falhas de ignição em motores a combustão interna, através da análise da aceleração angular do eixo de transmissão, conforme estabelecido na reivindicação 1.

[0011] A presente invenção será descrita agora com referência aos desenhos anexos, que exibem uma de suas realizações não limitadoras, nos quais:

- a Fig. 1 é uma vista em diagrama, em elevação lateral e seção cruzada, de um motor a combustão interna equipado com unidade de controle que implementa o método de detecção de falhas de ignição segundo a presente invenção;
- a Fig. 2 é um diagrama que exhibe a variação do valor da aceleração angular do eixo de transmissão em função da posição angular deste eixo de transmissão na presença de uma falha de ignição isolada;
- a Fig. 3 é um diagrama que exhibe um conjunto de oito valores de correção utilizados pela unidade de controle da Fig. 1;
- a Fig. 4 é um diagrama que exhibe a variação do valor da aceleração angular do eixo de transmissão da Fig. 2 após a aplicação de processo de filtragem que utiliza os oito valores de correção da Fig. 3; e
- a Fig. 5 é um diagrama que exhibe a variação do valor da aceleração angular do eixo de transmissão em função da posição angular deste eixo de transmissão na presença de uma dupla falha de ignição; e
- a Fig. 6 é um diagrama que exhibe a variação do valor da aceleração angular do eixo de transmissão da Fig. 5 após a aplicação de processo de filtragem que utiliza os oito valores de correção da Fig. 3.

[0012] Na Fig. 1, é exibido de forma geral um motor a combustão interna movido à gasolina (1), que compreende quatro cilindros (2), cada um dos quais abriga um pistão correspondente (3) conectado mecanicamente a um eixo de transmissão (4), a fim de transmitir a força gerada pela combustão da gasolina no cilindro (2) para o eixo de transmissão (4). Uma roda fônica (5), equipada com sessenta dentes (6) e acoplada a um sensor (7) adaptado para detectar o intervalo de tempo entre a passagem de dois dentes consecutivos (6), é fixada no eixo de transmissão (4). O motor (1) compreende ainda uma unidade de controle (8), que é conectada ao sensor (7) e adaptada para detectar falhas

de ignição nos cilindros (2).

[0013] Os métodos utilizados pela unidade de controle (8) para detectar falhas de ignição, utilizando as informações fornecidas pelo sensor (7) acoplado à roda fônica (5) são descritos abaixo.

[0014] Para cada rotação completa do eixo de transmissão (4) (e, portanto, da roda fônica (5)), são estimados tantos valores (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) quantos cilindros (2) existam realizando combustão durante uma rotação completa do eixo de transmissão (4); com referência ao motor (1) exibido na Fig. 1, dois valores (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) são, portanto, estimados para cada rotação completa do eixo de transmissão (4).

[0015] Em cada rotação completa do eixo de transmissão (4), são identificadas duas (igual ao número de cilindros (2) que realizam combustão durante rotação completa do eixo de transmissão (4)) seções de medições angulares que possuem a mesma amplitude, é medido o tempo decorrido para que o eixo de transmissão (4) percorra cada seção de medição angular e o valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) no  $i^{\circ}$  instante é calculado através da aplicação da fórmula a seguir:

$$acc_i = \frac{T_{i+1} - T_i}{T_i^3}$$

em que:

- $acc_i$  é a aceleração angular do eixo de transmissão (4) no  $i^{\circ}$  instante;
- $T_{i+1}$  é o tempo decorrido para que o eixo de transmissão (4) percorra a  $(i+1)^{\text{a}}$  seção de medição angular; e
- $T_i$  é o tempo decorrido para que o eixo de transmissão (4) percorra a  $i^{\text{a}}$  seção de medição angular.

[0016] O tempo decorrido para que o eixo de transmissão (4) percorra cada seção de medição angular é medido através do uso do sinal fornecido pela roda fônica (5); como forma de indicação, cada seção de medição angular possui amplitude angular igual ao número de dentes (6) da roda fônica (5) de três a doze. Preferencialmente, cada seção de medição angular coincide substancialmente com o impulso de expansão de um pistão correspondente (3) ou é ao menos parcialmente sobreposto sobre o impulso de expansão

de um pistão correspondente (3).

[0017] A Fig. 2 é um diagrama que exhibe a variação do valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) em função da posição angular deste eixo de transmissão (4) na presença de uma falha de ignição isolada. A Fig. 5 é um diagrama que exhibe a variação do valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) em função da posição angular deste eixo de transmissão (4) na presença de uma dupla falha de ignição.

[0018] Apreciar-se-á a partir das Figs. 2 e 5 que, após uma falha de ignição, o valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) apresenta seqüência de valores altos que tendem a cair gradualmente, ou seja, possuem curva do tipo oscilatório amortecido.

[0019] A norma (ou valor absoluto) de cada valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) é comparada com valor limite previamente determinado (S) que é preferencialmente função do ponto de motor atual; a presença de falhas de ignição é detectada caso o valor absoluto (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) seja maior que o valor limite previamente determinado (S). Ao detectar-se uma falha de ignição, ou seja, quando o valor absoluto (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) exceder o valor limite (S), um conjunto de oito valores (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) subsequente ao valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) em que foi detectada a falha de ignição é filtrado, a fim de eliminar o componente de oscilação causado pela falha de ignição com relação ao valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4); somente os oito valores filtrados (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) são comparados em seguida com o valor limite (S) para detectar a presença de qualquer falha de ignição subsequente após a falha de ignição detectada.

[0020] Apreciar-se-á que o número de valores (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) ao qual se aplica a filtragem pode ser diferente de oito e é geralmente de três a doze; oito são preferencialmente selecionados, levando-se em conta que, de forma geral, o fenômeno oscilatório do valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) termina dentro deste período.

[0021] Os oito valores (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) após o valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) em que foi detectada a falha de

ignição são filtrados através da adição algébrica de um conjunto correspondente de oito valores de correção a estes valores; estes valores de correção são obtidos na etapa de desenvolvimento e projeto do motor (1), através de análise da oscilação gerada por uma falha de ignição com relação ao valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4). Os valores de correção podem ser calculados, por exemplo, através da subtração de um conjunto correspondente de valores (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) na presença de falha de ignição a partir de um conjunto de valores (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) em condições padrão.

[0022] Como forma de exemplo, a Fig. 3 é um diagrama que exhibe um conjunto de oito valores de correção em função da posição angular do eixo de transmissão (4).

[0023] Em outras palavras, o método descrito acima para aprimorar a capacidade de diagnóstico de falhas de ignição requer o isolamento do distúrbio oscilatório que tem lugar com relação ao valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) após uma falha de ignição isolada e o uso sucessivo deste distúrbio oscilatório para filtrar um conjunto de oito valores (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) após cada falha de ignição.

[0024] A Fig. 4 é um diagrama que exhibe a variação do valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) da Fig. 2 após a aplicação de processo de filtragem, ou seja, após os oito valores de correção da Fig. 3 terem sido adicionados algebricamente aos valores (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) da Fig. 2. A Fig. 6 é um diagrama que exhibe a variação do valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) da Fig. 5 após a aplicação de processo de filtragem, ou seja, após os oito valores de correção da Fig. 3 terem sido adicionados algebricamente aos valores (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) da Fig. 5.

[0025] Apreciar-se-á a partir do exame das Figs. 4 e 6 que o método de filtragem descrito acima permite a detecção livre de erros de falhas de ignição isoladas ou múltiplas; na prática, a filtragem descrita acima possibilita a eliminação da possibilidade de que a unidade de controle (8) confunda uma falha de ignição isolada com múltiplas falhas de ignição.

[0026] A fim de assegurar que a detecção de falhas de ignição seja muito confiável, os

valores de correção necessitam ser variáveis em função do ponto do motor. Por esta razão, na etapa de projeto do motor (1), é identificada uma série de pontos salientes do motor, em cada um dos quais é calculado o conjunto de amostra correspondente de valores de correção; durante a operação normal do motor (1), o conjunto de valores de correção correspondente ao ponto de motor atual é calculado através de interpolação dos conjuntos de amostra de valores de correção. Como alternativa, na etapa de projeto do motor (1), é identificada uma série de pontos salientes do motor, em cada um dos quais é calculado o conjunto de amostra correspondente de valores de correção, e um conjunto de referência padrão isolado independente do ponto de motor é calculado a partir dos conjuntos de amostra de valores de correção; durante a operação normal do motor (1), o conjunto de valores de correção correspondente ao ponto de motor atual é calculado a partir do conjunto de referência padrão. Especificamente, o conjunto de valores (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) e o conjunto de valores de correção são expressos na forma de aceleração angular do eixo de transmissão (4) em função da posição angular deste eixo de transmissão (4), enquanto o conjunto de referência padrão é expresso na forma de razão entre a aceleração angular do eixo de transmissão (4) e a carga do motor (1) em função do tempo. A carga do motor (1) é indicada preferencialmente pelo fluxo de ar fresco fornecido para o motor (1).

[0027] Testes experimentais demonstraram que o uso de um conjunto de referência padrão de valores de correção no lugar de uma série de conjuntos de amostra de valores de correção possibilita a redução considerável da ocupação de memória da unidade de controle (8), sem efeitos substanciais sobre a confiabilidade e a precisão do método de filtragem.

## Reivindicações

1. Método para detectar falhas de ignição em motores a combustão interna (1) através de análise da aceleração angular (acc) do eixo de transmissão (4), em que o valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) é estimado em posições angulares previamente determinadas deste eixo de transmissão (4), o valor absoluto (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) é comparado com valor limite previamente determinado (S), **caracterizado** pelo fato de que, quando é detectada a presença de falha de ignição, ou seja, quando o valor absoluto (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) exceder o valor limite (S), um conjunto de valores (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4), subsequente ao valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) em que foi detectada a falha de ignição, é filtrado para eliminar o componente de oscilação gerado pela falha de ignição com relação ao valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4), em que somente os valores filtrados (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) são comparados com o valor limite (S) para detectar a presença de qualquer falha de ignição adicional após a falha de ignição detectada.

2. Método conforme a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que os valores (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) após o valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) em que foi detectada a falha de ignição são filtrados através da adição algébrica, a estes valores, de um conjunto correspondente de valores de correção obtidos na etapa de desenvolvimento e projeto do motor (1), através de análise da oscilação gerada por uma falha de ignição com relação ao valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4).

3. Método conforme a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que os valores de correção são calculados através de subtração de conjunto correspondente de valores (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) na presença de falha de ignição a partir de um conjunto de valores (acc) da

aceleração angular do eixo de transmissão (4) em condições padrão.

4. Método conforme qualquer das reivindicações 2 ou 3, **caracterizado** pelo fato de que os valores de correção são variáveis em função do ponto de motor atual.

5. Método conforme a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de que, na etapa de projeto do motor (1), é identificada uma série de pontos de motor salientes, em cada um dos quais é calculado o conjunto de amostra correspondente de valores de correção; e, durante a operação normal do motor (1), o conjunto de valores de correção para o ponto de motor atual é calculado através de interpolação dos conjuntos de amostra de valores de correção.

6. Método conforme a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de que, na etapa de projeto do motor (1), é identificada uma série de pontos de motor salientes, em cada um dos quais é calculado o conjunto de amostra correspondente de valores de correção, e um conjunto de referência padrão isolado independente do ponto de motor é calculado a partir dos conjuntos de amostra de valores de correção e, durante a operação normal do motor (1), o conjunto de valores de correção para o ponto de motor atual é calculado a partir do conjunto de referência padrão.

7. Método conforme a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de que o conjunto de valores (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) e o conjunto de valores de correção são expressos na forma de aceleração angular do eixo de transmissão (4) em função da posição angular do eixo de transmissão (4), em que o conjunto de referência padrão é expresso na forma de razão entre a aceleração angular do eixo de transmissão (4) e a carga do motor (1) em função do tempo.

8. Método conforme a reivindicação 7, **caracterizado** pelo fato de que a carga do motor (1) é indicada pelo fluxo de ar fresco fornecido para o motor.

9. Método conforme qualquer das reivindicações de 1 a 8, **caracterizado** pelo fato de que um conjunto de oito valores (acc) da aceleração angular do eixo

de transmissão (4) é filtrado a partir do valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) em que foi detectada a falha de ignição.

10. Método conforme qualquer das reivindicações de 1 a 9, **caracterizado** pelo fato de que o valor limite (S) de detecção da falha de ignição é função do ponto de motor atual.

11. Método conforme qualquer das reivindicações de 1 a 10, **caracterizado** pelo fato de que, para cada rotação completa do eixo de transmissão (4), são estimados tantos valores (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) quantos cilindros (2) existam realizando combustão durante uma rotação completa do eixo de transmissão (4).

12. Método conforme qualquer das reivindicações de 1 a 11, **caracterizado** pelo fato de que, em cada rotação completa do eixo de transmissão (4), são identificadas tantas seções de medição angular que possuem a mesma amplitude quantos cilindros (2) existam realizando combustão durante rotação completa do eixo de transmissão (4), em que é medido o tempo decorrido para que o eixo de transmissão (4) percorra cada seção de medição angular e é calculado o valor (acc) da aceleração angular do eixo de transmissão (4) no iº instante através da aplicação da fórmula a seguir:

$$\text{acc}_i = \frac{T_{i+1} - T_i}{T^3_i}$$

em que:

- $\text{acc}_i$  é a aceleração angular do eixo de transmissão (4) no iº instante;
- $T_{i+1}$  é o tempo decorrido para que o eixo de transmissão (4) percorra a (i+1)ª seção de medição angular; e
- $T_i$  é o tempo decorrido para que o eixo de transmissão (4) percorra a iª seção de medição angular.

13. Método conforme a reivindicação 12, **caracterizado** pelo fato de que o tempo decorrido para que o eixo de transmissão (4) percorra cada seção de medição angular é medido através do uso do sinal fornecido pela roda fônica (5),

que é equipada com um disco que contém sessenta dentes (6), em que cada seção de medição angular possui amplitude angular igual ao número de dentes (6) da roda fônica (5) de três a doze.

14. Método conforme qualquer das reivindicações 12 ou 13, **caracterizado** pelo fato de que cada seção angular é ao menos parcialmente sobreposta com relação ao impulso de expansão de um pistão correspondente (3).

15. Método conforme qualquer das reivindicações 12 ou 13, **caracterizado** pelo fato de que cada seção angular coincide substancialmente com o impulso de expansão de um pistão correspondente (3).

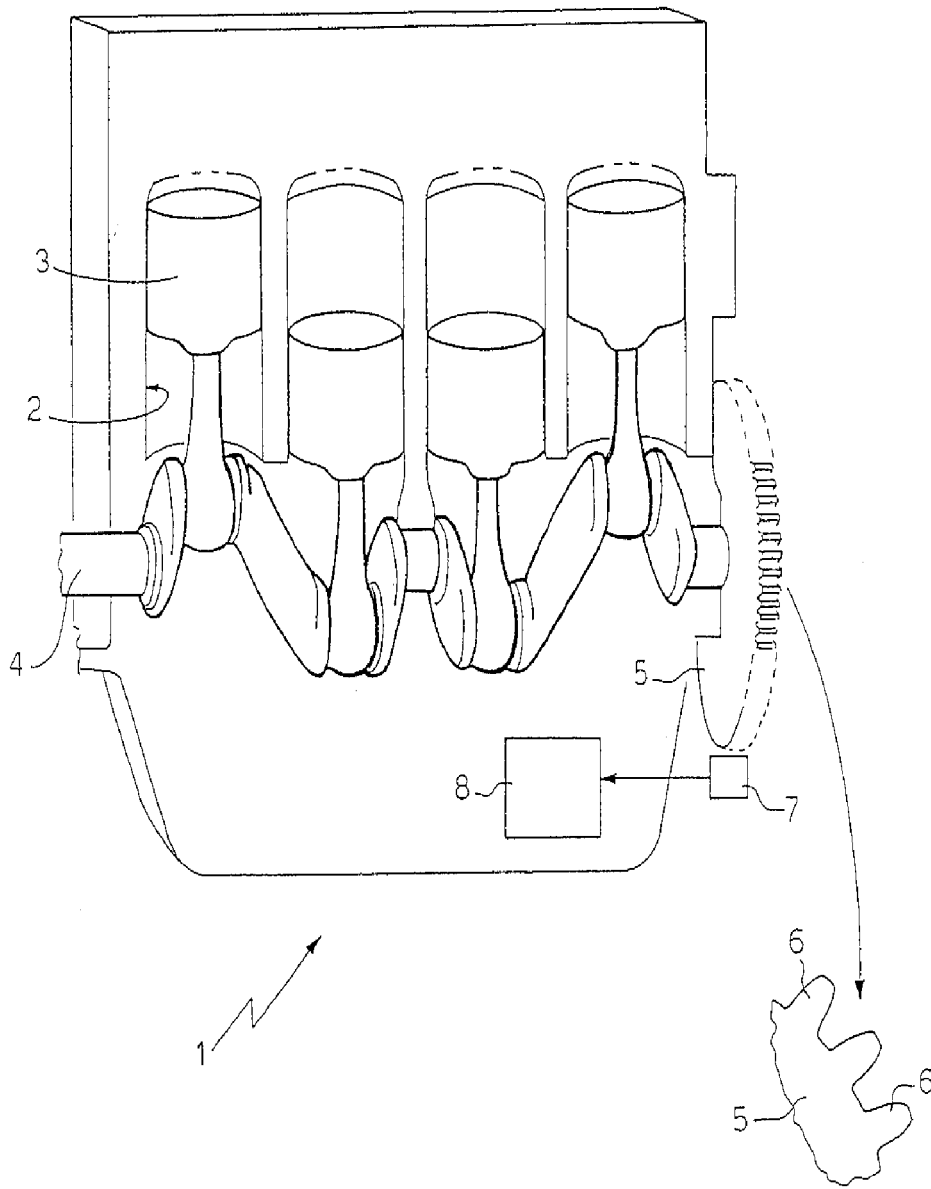


Fig.1

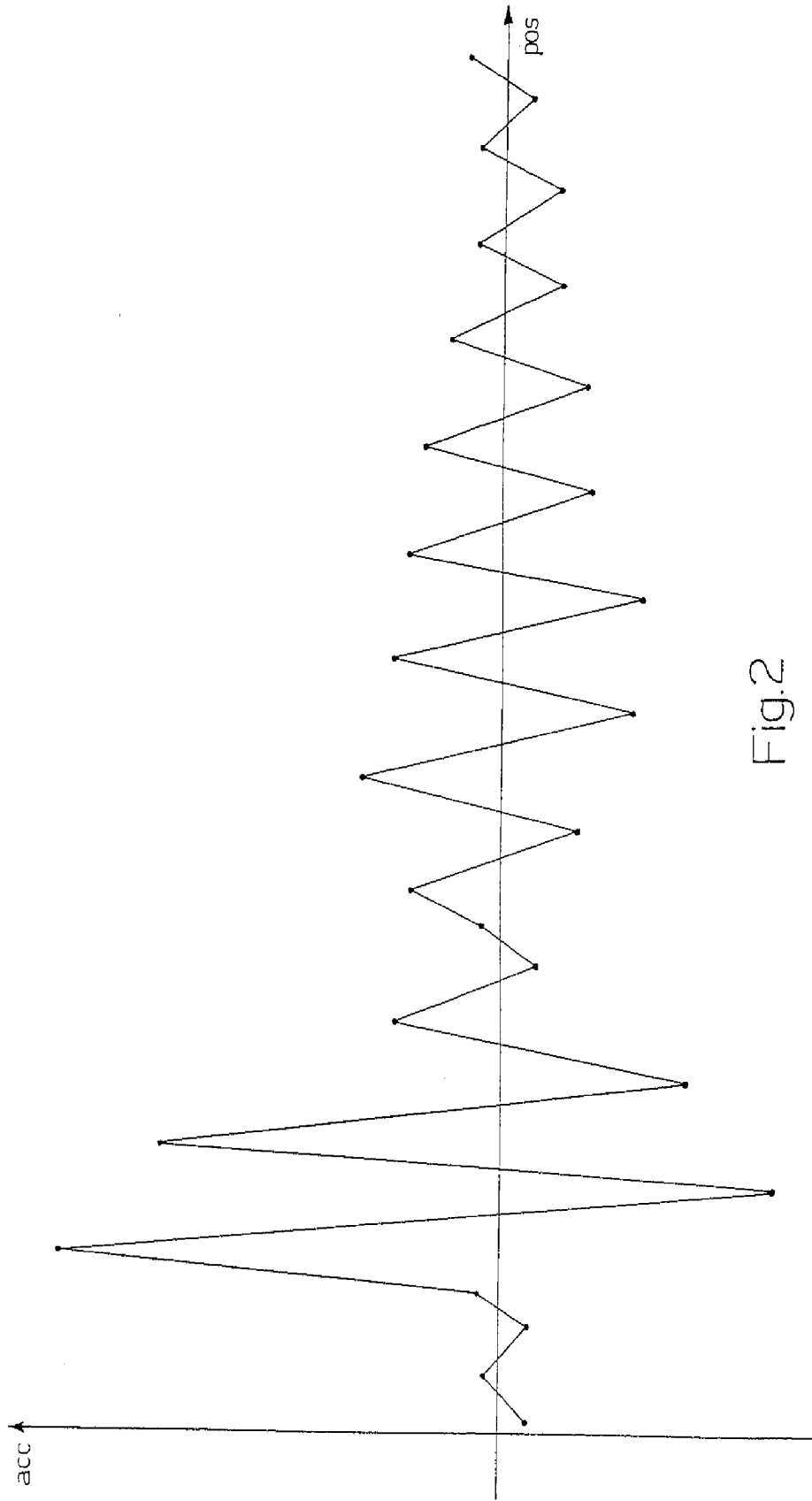


Fig.2

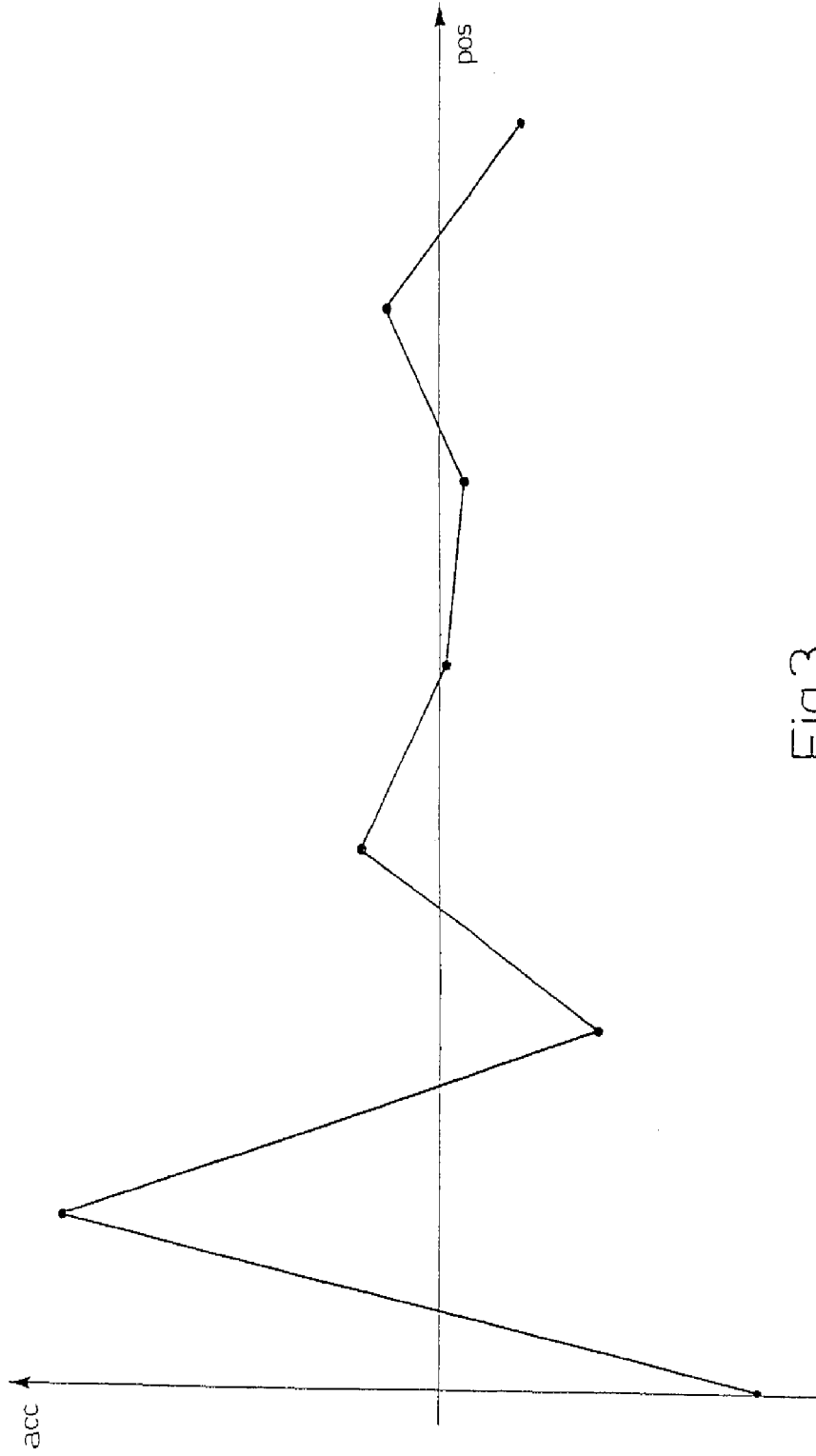


Fig.3

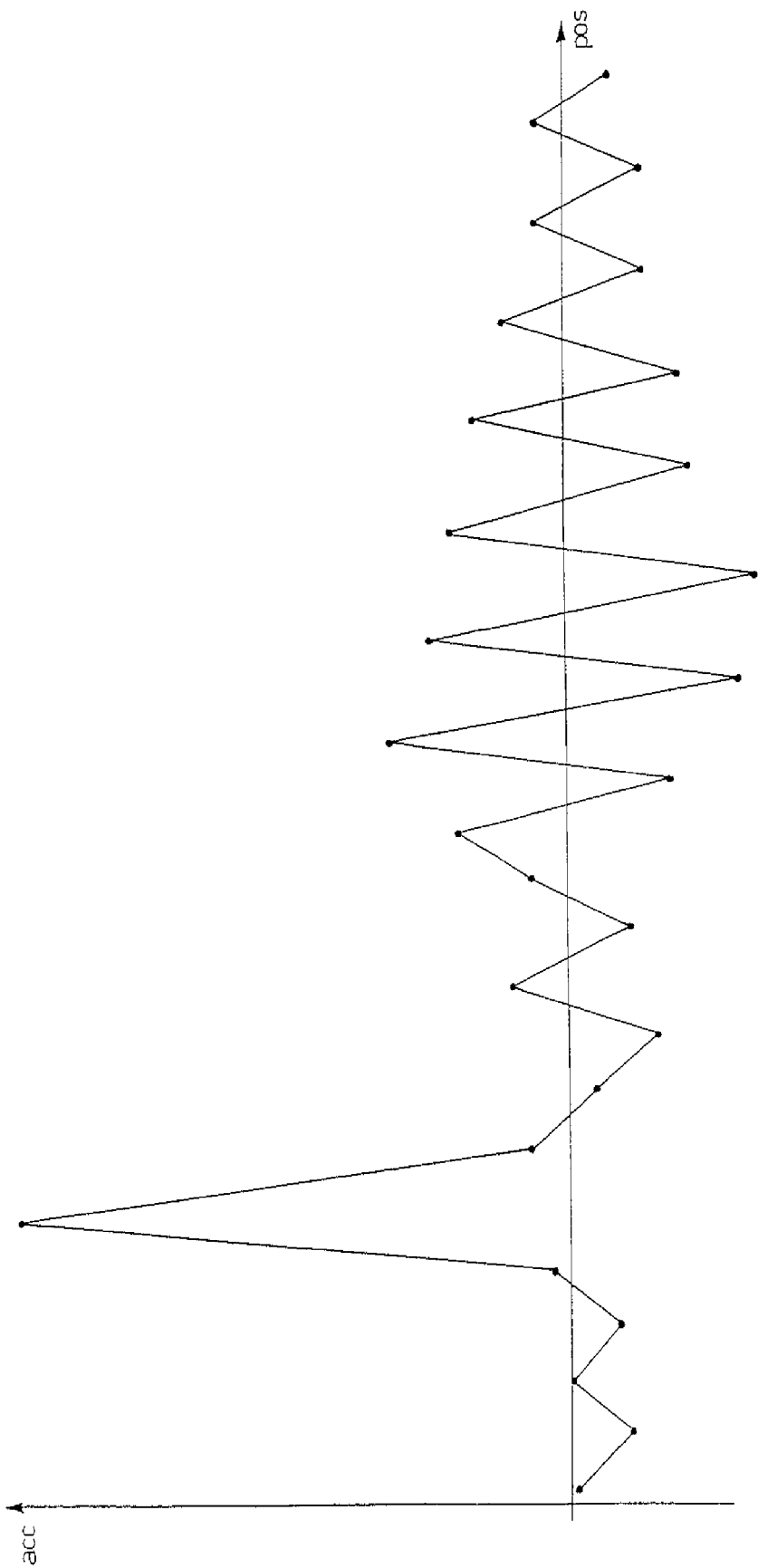


Fig4

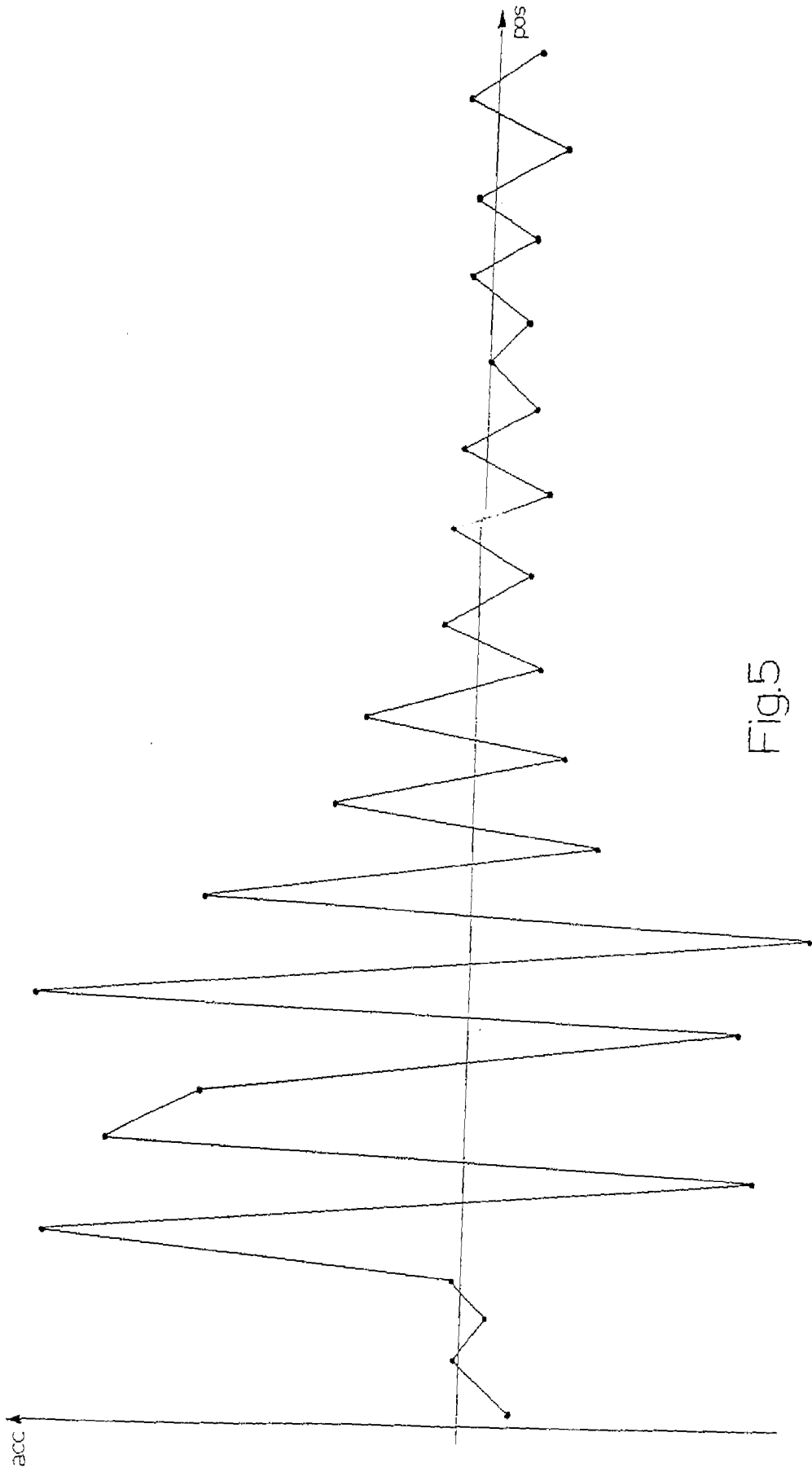


Fig.5

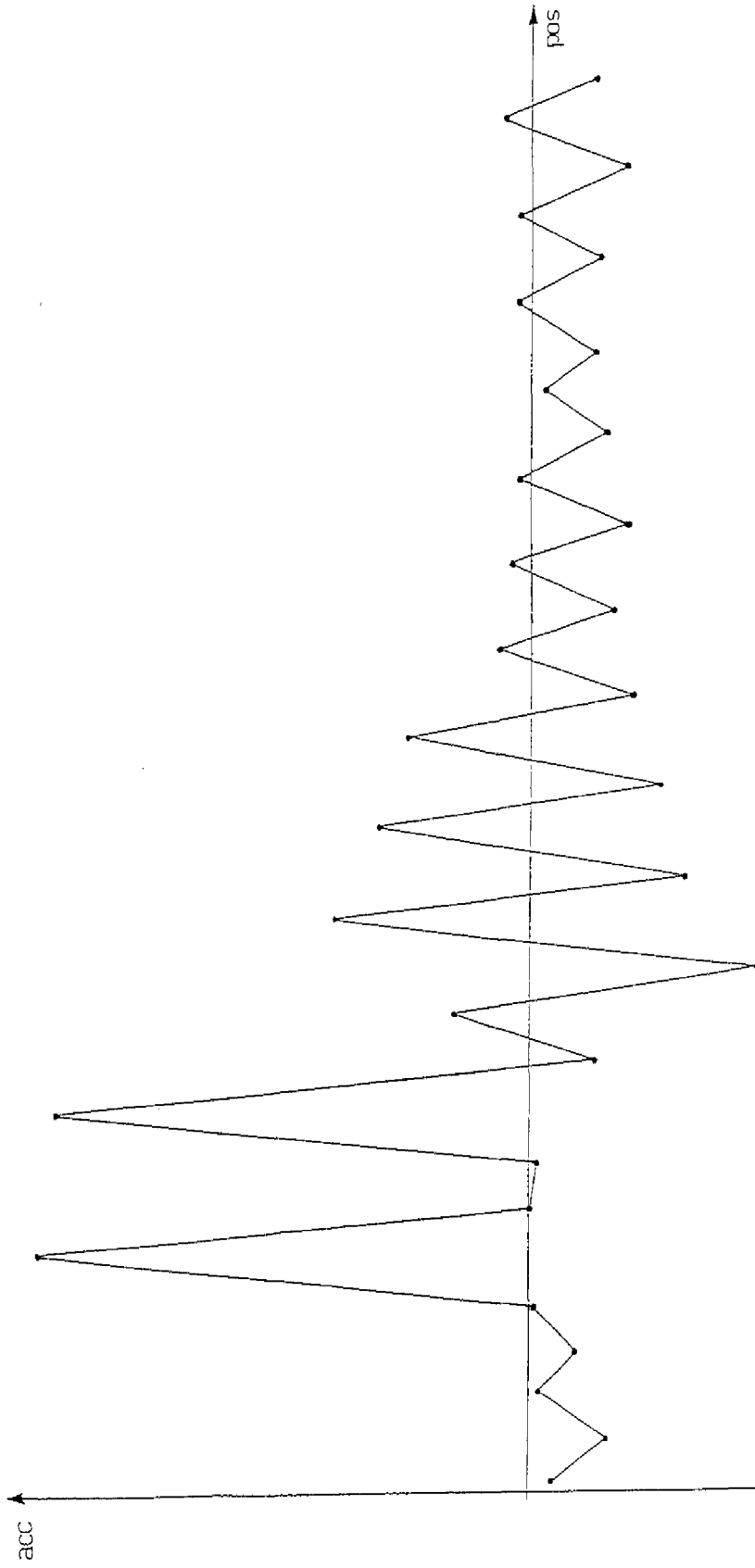


Fig.6

## Resumo

**Método para detectar falhas de ignição em motores a combustão interna através de análise da aceleração angular do eixo de transmissão**

Método de detecção de falhas de ignição em um motor a combustão interna (1) através de análise da aceleração angular (acc) do eixo de transmissão (4), em que o valor (acc) da aceleração angular é estimado em posições angulares previamente determinadas do eixo de transmissão (4), o valor absoluto (acc) da aceleração angular é comparado com valor limite previamente determinado (S) e a presença de falha de ignição é detectada caso o valor absoluto (acc) da aceleração angular seja maior que o valor limite previamente determinado (S); quando for detectada a presença de falha de ignição, um conjunto de valores (acc) da aceleração angular subsequente ao valor (acc) da aceleração angular em que foi detectada a falha de ignição é filtrado para eliminar o componente de oscilação gerado pela falha de ignição com relação ao valor (acc) da aceleração angular.